

Axe 1-1, livrable 9 - « Approche circulatoire des formes d'agencement spatio-temporel de la mobilité quotidienne »

Février 2019, Dominique Andrieu, Hervé Baptiste

Introduction	2
I. Protocole.....	5
II. Echantillon.....	5
III. Catégories d'indicateurs	6
1. Centralité	6
2. Dispersion spatiale	7
3. Application à notre corpus de traces GPS	9
IV. Les ellipses de dispersion comme outil d'analyse des traces GPS, à travers une catégorisation.....	11
1. Traitement des EDS par ACP.....	12
2. Catégorisation des traces par CAH.....	15
Conclusion.....	20
Bibliographie.....	23
Annexe	24

Introduction

Le travail d'analyse mené dans le cadre du programme Mobiter sur 57 traces GPS (collectées au cours des programmes Mour et Mobiter) a permis d'explorer l'intérêt de deux séries d'indicateurs statistiques. D'une part, une analyse a été réalisée à partir de l'ensemble des points enregistrés des traces, sur les distances parcourues (à partir d'un indicateur de mesure des distances cumulées aux lieux de résidence) et la dispersion relative des pratiques spatiales (à partir d'un indicateur de mesure de la dispersion à un point central). D'autre part, une analyse a été réalisée à partir des seuls points d'arrêt identifiés, qui s'est penchée sur leur localisation (indicateurs de dispersion des points d'arrêt par rapport au domicile, de densité des points d'arrêt par commune selon le zonage en aires urbaines et enfin de densité des points d'arrêt selon la densité d'équipements, à partir de la base de données permanente des équipements de l'INSEE) et leur durée sur le territoire (indicateur de durée d'immobilité dans les points d'arrêt selon le zonage en aires urbaines). Ces indicateurs synthétiques et spatialisés permettent de caractériser les traces au regard de « *différentes dimensions, le mouvement et l'ancrage, des pratiques spatiales* » (Aguiléra et al, 2016 : 58). Ils facilitent par ailleurs la comparaison entre les différents jeux de données. Selon la typologie adoptée dans l'ouvrage d'I. André-Poyaud et al. (2010 : 9), ils relèvent d'une première famille d'indicateurs classiques de l'analyse spatiale, « *destinés à résumer les caractéristiques d'un semis de points* » et ainsi décrire les formes d'organisation spatiale à partir de données spatiotemporelles.

Par ailleurs, des tentatives ont été menées dans d'autres disciplines (démographie, psychologie environnementale, mathématiques, sociologie notamment) visant à définir des indicateurs pouvant caractériser des semis de points identifiant des trajectoires d'individus, d'animaux (Buard et al, 2015) ou d'objets (navires – Etienne, 2015, véhicules de secours – Bisone et al, 2017). En informatique, Buard et al. (2015) ont développé des méthodes de fouille de données visant à extraire des connaissances à partir de grandes quantités de données, par des méthodes automatiques et un grand nombre d'outils issus de la statistique et de l'intelligence artificielle.

André-Poyaud et al. (2010) identifient une deuxième famille de méthodes de classification d'indicateurs qui renvoie cette fois à la notion de trajectoire dans l'espace : l'analyse ne se limite plus à la durée passée en un lieu mais focalise sur une dimension temporelle décrivant la succession des lieux occupés. Les auteurs parlent ainsi de « *représentation linéaire* » pour décrire les modèles où « *une suite d'événements sont ordonnés chronologiquement et datés dans un calendrier* » ; ainsi, les analyses s'inscrivant dans le courant de la *Time geography* portent sur « *l'enchaînement d'événements ponctuels* » (André-Poyaud et al, 2010 : 7), sur les trajectoires en elles-mêmes pour identifier des comportements types ou décrire les flux.

Enfin, une troisième approche des traces GPS a été développée dans le cadre de Mobiter, basée sur un examen visuel des traces : ce traitement a permis de faire ressortir différentes figures de l'inscription territoriale des pratiques spatiales, différentes « *figures particulières, possiblement communes à un ensemble d'individus* » qui confirment la « *complexité des systèmes et des arrangements spatiaux qui composent les modalités de l'inscription territoriale des pratiques spatiales, entre ancrage et mobilité, dans les espaces ruraux* » (Aguiléra et al, 2016 : 59). Cinq « *figures de l'inscription territoriale* » ont été identifiées dans le rural isolé ; trois dans le rural polarisé (cf. Figure 2 et 2).

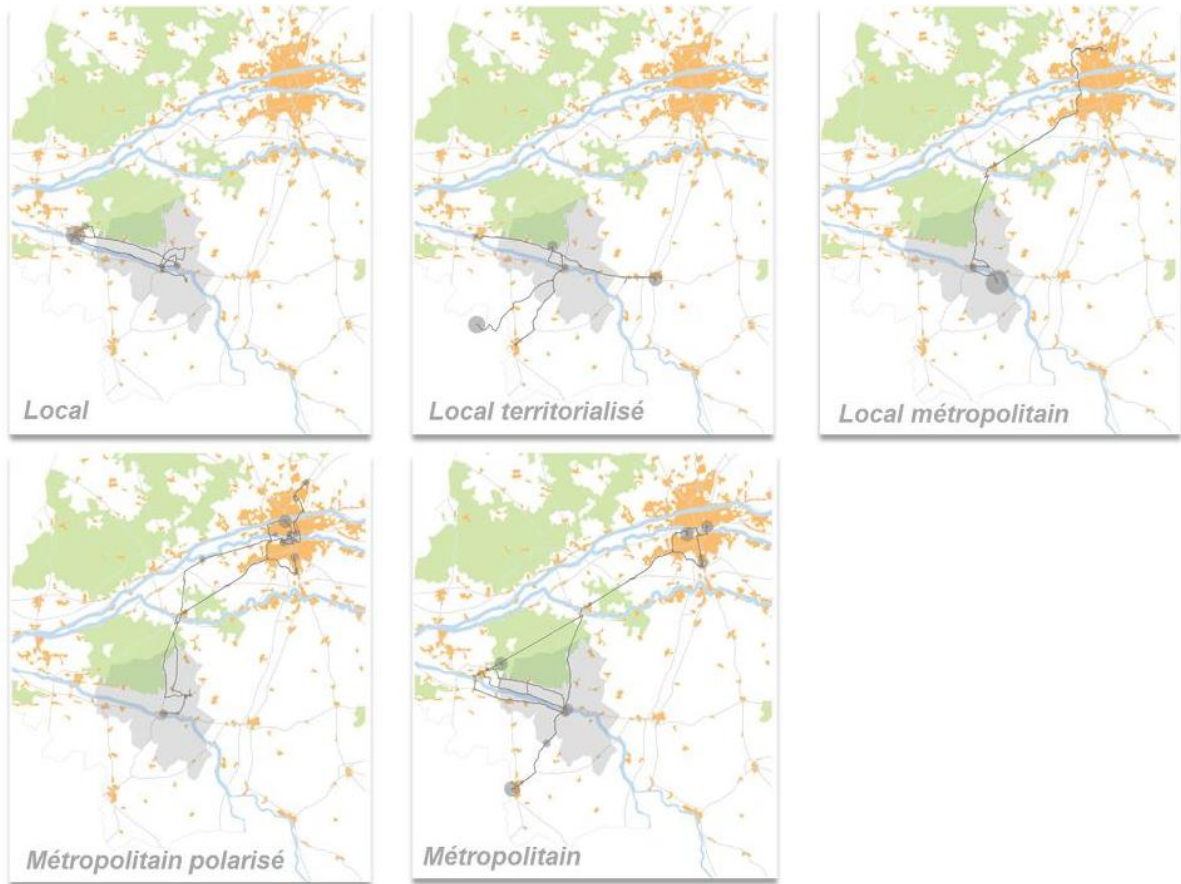


Figure 1 : Quelques figures de l'inscription territoriale des pratiques spatiales dans le rural isolé - BF, 2015



Figure 2 : Quelques figures de l'inscription territoriale des pratiques spatiales dans le rural polarisé - BF, 2015

Cette succincte revue de littérature met en lumière la grande diversité des approches ainsi que le caractère non stabilisé des protocoles déployés dans les différentes disciplines à même de mobiliser des données issues de traces GPS. Le travail mené dans le cadre du méta-projet vise à enrichir les méthodes existantes, sur la base de ce matériau encore récent qu'est la donnée issue de traces GPS.

Nous inscrivons ainsi notre travail dans l'analyse exploratoire de données (EDA : *Exploratory data analysis*) de Tukey (1977) qui mobilise des méthodes statistiques pour dégager des tendances dans les données. Appliquées aux données spatiales que sont les traces GPS (Banos, 2001), ces méthodes de statistiques spatiales exploratoires (*Exploratory Spatial Data Analysis*, ESDA – Zaninetti, 2005) a un double intérêt :

- travailler à l'identification de nouveaux indicateurs synthétiques qui permettent de « résumer » les traces et d'en faciliter la comparaison et/ou appliquer aux traces des indicateurs connus en statistique descriptive mais jusqu'à aujourd'hui pas ou peu appliqués sur ce type de matériau¹. Ceux que nous mobiliserons appartiennent à la première famille d'indicateurs identifiée par André-Poyaud et al. (indicateurs qui résument la forme d'un semis de points et décrivent des formes d'organisation spatiale à partir de données spatiotemporelles) ;

¹ Cf. partie suivante pour des exemples d'exploitation des ellipses de déviation standard, utilisées notamment avec des données spatiotemporelles issues d'EMD mais non issues de traces GPS.

- compléter, valider ou invalider le travail de typologisation réalisé dans Mobiter (à partir de l'examen visuel des traces, cf. ci-dessus), à l'aide d'indicateurs quantitatifs qui permettront des analyses moins subjectives.

Les analyses menées dans le méta-projet cherchent en outre à traiter les traces GPS dans leur globalité, i.e. à partir de l'ensemble des points d'enregistrements) : cette approche est innovante, les expériences d'analyses statistiques de traces GPS relatées dans la littérature étant généralement menées sur les seuls points d'arrêt.

Nous présenterons dans un premier temps le protocole élaboré et suivi, présenterons d'une part l'échantillon traité, d'autre part les catégories d'indicateurs mobilisés, en particulier les ellipses de déviation standard. Sur la base de ces éléments de méthode, nous appliquerons notre démarche à l'échantillon, afin d'identifier des catégories de pratiques spatiales parmi l'ensemble des traces GPS à notre disposition.

I. Protocole

Préalablement à la présentation de l'échantillon de traces GPS puis des catégories d'indicateurs mobilisés, quelques précisions quant aux choix réalisés sont nécessaires.

Le premier a trait à la nature des données considérées : ce sont des données brutes, au sens où aucun post-traitement n'a été réalisé à l'issue de la collecte des enregistrements. En particulier, nous avons pris le parti de ne pas réaliser de traitement des « points erratiques », ces points issus d'une captation plus difficile des signaux GPS, lorsque le sujet est localisé dans un bâtiment par exemple. L'existence de points erratiques constitue un biais (Huyghe et al, 2018), puisque ces points ne sont pas associés à une position réellement occupée au temps t par un individu. Cependant, les algorithmes de post-traitement chargés de supprimer ces points ne sont pas en mesure d'identifier avec certitude tous les points erratiques, et peuvent à l'extrême supprimer des points bien « réels » ; nous ne sommes pas non plus en mesure de quantifier les erreurs introduites par ces points erratiques, que ce soit en considérant les traces brutes ou celles passées au filtres des algorithmes testés. Nous avons donc fait le choix de considérer uniquement les traces brutes, et appliqué ce choix à l'ensemble des traces de l'échantillon.

Le second a trait aux données complémentaires accompagnant certaines traces : carnets de pratiques ou autres compléments d'informations sur les pratiques des individus suivis. Nous avons opté pour une exploitation des seules traces GPS, indépendamment de l'existence ou non de ces informations complémentaires : ce choix est avant tout pragmatique, dans la mesure où dans certains programmes de recherche (Mour, Périvia), les traces GPS étaient accompagnées de carnets de pratiques renseignés par les volontaires au cours du suivi ou *a posteriori*, tandis que dans d'autres programmes (Mobiter), les volontaires n'étaient pas sollicités autrement que par le suivi GPS. Dans un souci d'homogénéisation de l'échantillon, toutes les traces ont donc été traitées sans autre information que les points d'enregistrement, hormis une caractérisation sommaire du volontaire (âge, situation familiale, etc.). Ce choix est fort puisqu'il implique d'identifier des types de pratiques de l'espace sans connaissance *a priori* des motifs de déplacement, des modes de transport empruntés, etc.

II. Echantillon

Dans le cadre du méta-projet, nous travaillons sur 104 traces GPS issues des 4 projets Mobiter (42 traces), MOM (10 traces), Mour (15 traces) et Périvia (37 traces). Chacune des traces est associée à un

individu distinct. Comme nous l'avons indiqué, l'analyse porte sur l'ensemble des points enregistrés et considère donc à la fois les phases d'immobilité et les phases de déplacement des individus.

Les traces ont majoritairement été collectées sur 7 jours ; pour un tiers d'entre elles, la durée d'enregistrement s'est poursuivie pendant quelques jours supplémentaires. La carte ci-après (Figure 3) montre la localisation des volontaires selon leur territoire de résidence, couvrant des profils urbains très différents.

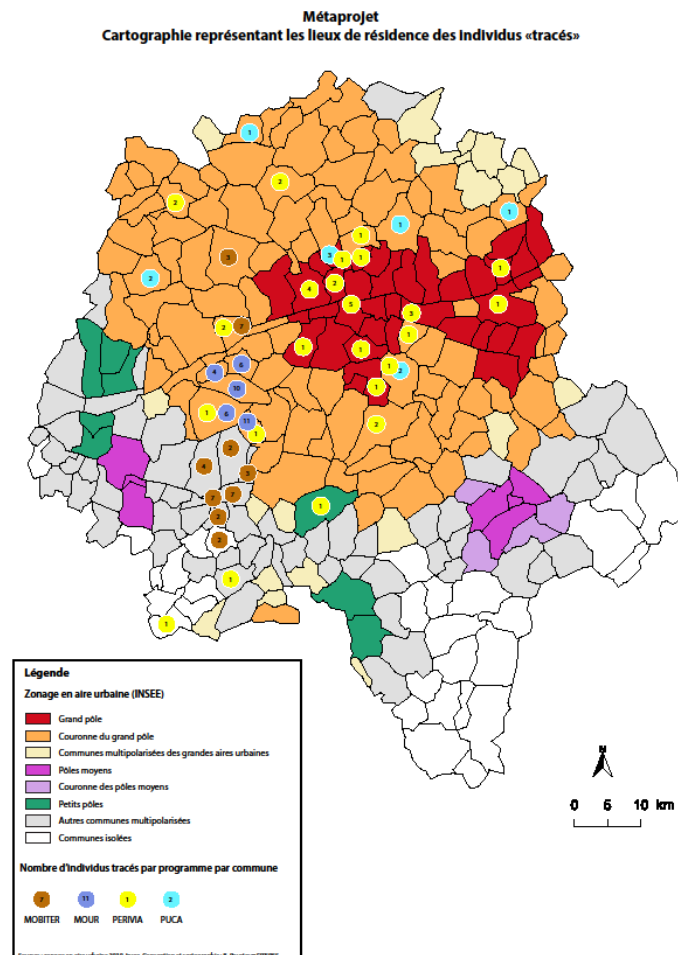


Figure 3: Résidence des individus "tracés" dans le Méta-projet – DA, 2018.

III. Catégories d'indicateurs

Nous faisons le choix d'une analyse spatiale globale, en étudiant les caractéristiques de l'ensemble du nuage de points (regroupement-dispersion, forme, tendance). En considérant la position absolue des points (coordonnées cartographiques des enregistrements exprimées en mètres), nous mesurons la centralité spatiale puis la dispersion spatiale, en vue d'une recherche de tendances et de structures spatiales globales (centralité, direction, forme). Nous précisons ci-dessous la définition retenue pour les notions de centralité et de dispersion spatiale.

1. Centralité

Rejoignant la définition qu'en donne Pumain (2004), nous considérons la centralité en tant que « centralité spatiale », caractérisée par « *la position plus ou moins accessible d'un nœud dans un réseau* » se mesurant par des « *indices de position d'un sommet dans un graphe* ». De cette notion, deux types de position centrale dans un réseau peuvent être distingués :

- le centre moyen du graphe ou, de manière plus opératoire, la localisation optimale d'un sommet à l'ensemble de tous les autres. En géomatique, il est défini par la coordonnée X moyenne et la coordonnée Y moyenne de tous les centroïdes des entités² ;
- le centre médian du graphe, qui minimise la distance maximale entre un sommet et tout autre sommet du réseau. En géomatique, le centre médian utilise « *un algorithme itératif pour identifier le point qui minimise la distance euclidienne vers toutes les entités du jeu de données* »³.

2. Dispersion spatiale

Pour mesurer la dispersion spatiale des traces, nous choisissons de tester l'indicateur des ellipses de dispersion (*Standard Deviational Ellipse* - Morency, 2006), couramment employé pour résumer un semis de points.

Les *Standard Deviational Ellipses*, ou EDS, font partie de la famille des statistiques spatiales descriptives et permettent de résumer la structure d'un semis de localisations. Elles peuvent compléter des indicateurs de la famille des statistiques centrographiques, qui résument des localisations par des indicateurs de position centrale et représentent au mieux les localisations étudiées : « *alors que la distance standard ne définit qu'un simple cercle autour du point central équivalent à l'écart type, l'EDS tient compte de l'anisotropie de la distribution, c'est-à-dire de sa déformation dans une direction ou dans une autre. Les EDS ne représentent pas des agrégats, mais une tendance spatiale et une synthèse de la position absolue.* » (Zaninetti, 2005 : 48).

Ces EDS sont formalisées différemment selon les auteurs mais toutes, quelles que soient leurs formulations, cherchent à rendre compte de ces tendances de dispersion d'un nuage de points. En termes de construction, Laloux (2016) précise que contrairement au calcul de dispersion d'une variable en une seule dimension (qui reste donc simple à visualiser, sous la forme d'histogrammes par exemple), les distributions bivariées ou multivariées nécessitent de calculer séparément les écarts types de chaque variable et de représenter leur distribution par des ellipses dont les axes sont ces écarts types. Cette méthode permet alors de mesurer également une tendance directionnelle (angle de l'ellipse). Laloux résume les 3 mesures à calculer pour déterminer une EDS :

- le centre moyen du nuage des points (intitulé point « moyen » sur la Figure 4) ;
- l'angle de rotation de l'ellipse (orientation) ;
- la dispersion par les écarts-types des coordonnées x et y à partir du centre moyen, qui vont définir les deux axes de dispersion minimale et maximale de l'ellipse.

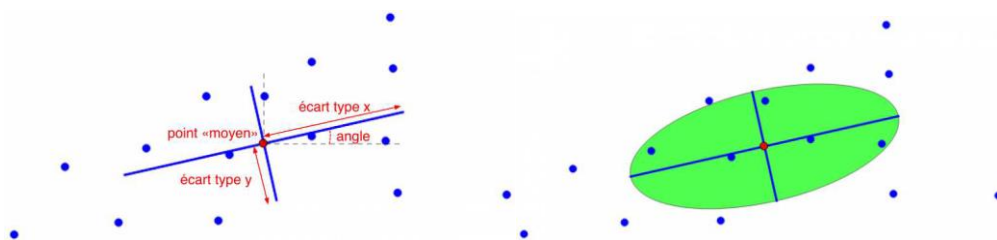


Figure 4: Représentation des paramètres d'une Ellipse de Déviation Standard - Source : Martin Laloux, 2016.

² <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/median-center.htm>

³ <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/median-center.htm>

La longueur du grand axe et celle du petit axe, qui se croisent au centre moyen, définissent les ellipses. Dans la théorie des graphes, ces ellipses permettent de mettre en évidence des pratiques de l'espace isotropes ou réticulées (lorsque les longueurs des grand et petit axes sont similaires et leur rapport proche de 1), ou des mobilités de type corridor (lorsque la longueur du grand axe de l'ellipse par rapport au petit axe aplatit l'ellipse).

Très souvent, ces ellipses de déviation standard sont mobilisées pour effectuer des comparaisons d'un même jeu de données, à deux dates différentes. Morency (2006) a ainsi appliqué ces mesures statistiques de dispersion sur des données issues d'enquêtes ménages origine-destination de la grande région de Montréal, distinguant les usagers des transports en commun (TC) et les non-usagers des TC, à une dizaine d'années d'intervalle (Figure 55).



Figure 5 : « Ellipses de dispersion et centres moyens des usagers et non usagers du réseau régional de transport en commun (1987 et 1998) » (Morency, 2006)

L'auteur montre ainsi que la dispersion spatiale des non-usagers des TC s'accroît entre les deux périodes, occupant de plus en plus les espaces périurbains, alors que la part des usagers des TC ne suit pas cette « vague de l'étalement urbain », ces usagers restant avant tout concentrés « dans la portion centrale de l'Île de Montréal, là où les services de transport en commun sont les plus présents ».

De manière analogue, Zaninetti (2005) applique la méthode des EDS pour étudier la dynamique de peuplement de la région Centre entre 1962 et 1999. Observant d'abord le déplacement du barycentre de la population de la région entre ces deux dates, qui illustre des différentiels de croissance démographiques selon les espaces au bénéfice du nord de la région Centre, l'auteur analyse ensuite la position, la taille et la forme des ellipses de déviation standard en 1962 et 1999. Il montre qu'en 1962, l'ellipse était « sensiblement moins elliptique et un peu plus étendue » qu'en 1999, ce qui illustre sur la période l'importance de la croissance démographique au nord de la région et une plus grande polarisation du peuplement.

Outre la réalisation de ces analyses chronologiques des dynamiques spatiales, les EDS sont également mobilisées pour analyser les dynamiques spatiales entre plusieurs jeux de données. En épidémiologie animale, Polupan et al (2017) ont ainsi calculé des EDS pour étudier des cas de rage sur un territoire, l'objet étant ici de comparer les ellipses de dispersion issues d'une part de cas recensés chez les animaux sauvages, d'autre part chez les animaux domestiques en Ukraine (Figure 6) :

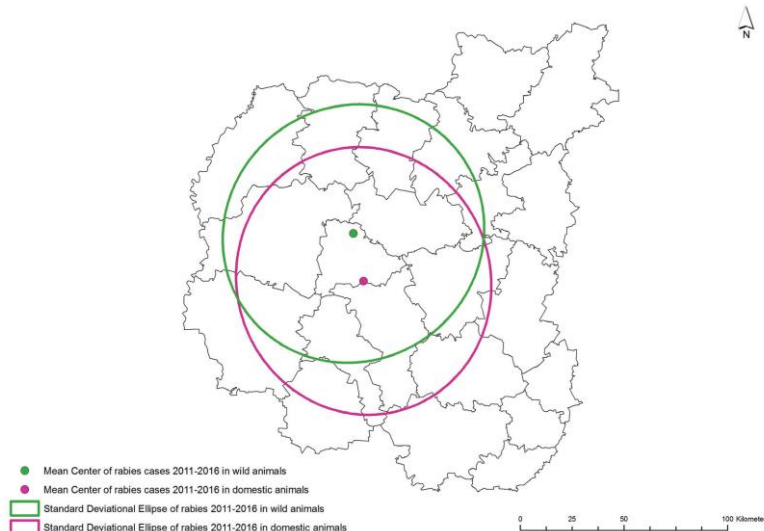


Figure 6 : Ellipse of standard deviations (size 1 standard deviation) of rabies cases in wild and domestic animals, Chernihiv Oblast, 2011–2016.

En géographie ou en aménagement de l'espace, on retrouve également couramment ce type d'approche pour catégoriser des pratiques spatiales (voir par ex. Drevon et al, 2015 ; Lord et al, 2009 ; Demoraes et al, 2012). L'éloignement du point moyen à un point de référence (généralement le domicile), l'angle de rotation du grand axe de l'ellipse, la longueur du petit et du grand axe, la surface de l'ellipse et le rapport entre le petit axe et le grand axe (aplatissement de l'ellipse) servent alors à caractériser la dispersion de ces semis de points (cf. Figure 7).

A partir de ces indicateurs, il est ensuite possible d'appliquer une analyse multivariée qui permet de repérer des configurations de mobilité, de mettre en évidence des pratiques particulières de l'espace par type d'espace résidentiel par exemple (rural polarisé ou rural isolé, périurbain lointain, périurbain proche, etc.).

3. Application à notre corpus de traces GPS

En référence aux catégories d'indicateurs préalablement exposés, deux mesures de centralité ont dans un premier temps été envisagées :

- le centre moyen (tel qu'il avait pu être mis en œuvre au cours du projet Mobiter) : moyenne des coordonnées x et y des points d'enregistrement.

$$x_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ et } y_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

avec n le nombre de points, x_i et y_i les coordonnées du point i, x_{cm} et y_{cm} les coordonnées du centre moyen (Morency, 2006)

- le centre médian, qui identifie le point de coordonnées x et y qui minimise la distance euclidienne vers tous les points d'enregistrement.

Si i et j sont deux points quelconques du semis et d_{ij} la distance euclidienne qui les sépare, le centre médian sera tel que la somme des distances de i à tous les autres points j du semis étudié est minimum (Pumain & St-Julien, 2010), tel que :

$$d_i^j = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad ,$$

avec d la distance euclidienne, x_i et y_i les coordonnées du centre médian, et j égal au nombre total de points du semis.

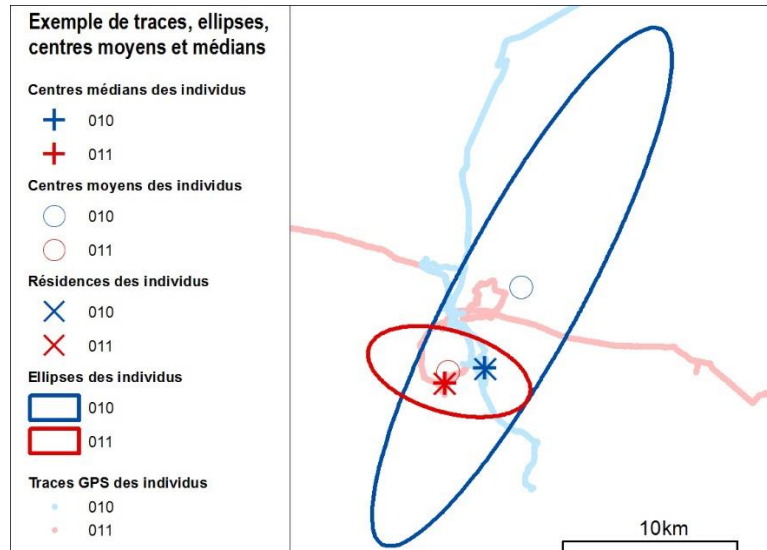
Dans un second temps, nous avons calculé les EDS à partir de l'algorithme suivant, mobilisé dans le logiciel ArcGIS 10.x. Ce choix est justifié par des raisons de praticité et de rapidité de mise en œuvre, l'algorithme s'avérant également efficace en comparaison des autres formes développées par les auteurs et comparées par M. Laloux (2016) :

$$\sigma_x = \sqrt{2 \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}) \cos \theta - (y_i - \bar{y}) \sin \theta)^2}{n}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{2 \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}) \sin \theta - (y_i - \bar{y}) \cos \theta)^2}{n}}$$

avec n le nombre de points du semis, x_i et y_i les coordonnées du point i , σ_x et σ_y les rayons/écarts types respectivement du grand axe et du petit axe

La Figure 7 illustre comment la position des centres moyens et médians et la forme des ellipses de déviation standard de deux individus varient en fonction des déplacements et lieux fréquentés par les enquêtés (matérialisés par les points des traces GPS). L'individu 010 qui se déplace jusqu'à Tours présente une ellipse plus étirée, alors que celle de l'individu 011 est plus centrée sur son domicile. La position du centre moyen est sensible à l'éloignement des traces GPS par rapport à la résidence. Au contraire, la position du centre médian varie peu, qui est très proche de la résidence.



Anonymisation	Tranche d'âge	Genre	Situation familiale	PCS	Distance à Tours (km)	Type résidentiel	Statut occupant	Type de logement	Ancienneté d'emménagement	Déplacement privilégié (domicile - travail)
	[30-44]	F	[en couple avec enfant(s)]	Artisans, commerc. et chefs d'entrep.	51	Hameau	P	Maison	[10 ans ou plus]	Voiture

011	[60-74]	H	[en couple sans enfant]	Retraités	50	Hameau	P	Maison	[5 à 9 ans]	/
-----	---------	---	-------------------------	-----------	----	--------	---	--------	-------------	---

Figure 7: Ellipses, centre moyens et médians sur les traces 10 et 11, caractéristiques des individus - DA, 2018

Une caractéristique essentielle des centres moyens est d'être influencés par l'amplitude de la série statistique, c'est-à-dire la différence entre les coordonnées (x, y) minimales et maximales. Dans le cas de notre matériau, l'amplitude des coordonnées représente potentiellement des déplacements lointains, *a priori* hors de la mobilité quotidienne. A l'opposé, les centres médians sont souvent proches des lieux de résidence. Les lieux de résidence étant connus (même approximativement, c'est-à-dire à 200 m autour de l'habitation pour préserver l'anonymat de l'enquête), le centre médian ne paraît pas être un indicateur pertinent pour discriminer la mobilité des individus enquêtés. Les centres moyens ont alors un double intérêt, celui d'être sensible aux valeurs extrêmes et celui d'être le point de croisement des 2 axes définissant les ellipses de déviation standard. C'est donc le centre moyen que nous avons retenu pour la suite du protocole, en particulier lors du calcul de la distance entre ce centre et le lieu de résidence de chaque individu suivi, lors de l'exploitation des ellipses de déviation standard.

IV. Les ellipses de dispersion comme outil d'analyse des traces GPS, à travers une catégorisation

Comme exposé précédemment, la principale originalité de la démarche est de ne pas mobiliser l'indicateur statistique qu'est l'ellipse de déviation standard sur la base d'une approche classiquement diachronique (en vue d'analyser sur deux périodes, l'évolution des positions et formes des centres moyens et EDS), mais au contraire, en adoptant une visée comparative issue du calcul de l'EDS de chaque trace GPS de l'échantillon.

L'objectif est alors, à partir d'une caractérisation de chaque trace selon cette EDS, de déterminer des profils de pratiques spatiales des individus, afin de recenser d'éventuelles similarités, récurrences ou au contraire types de pratiques distinctes. L'approche vise ainsi à compléter celle présentée en introduction, qui avait permis de mettre en évidence quelques grandes figures de l'inscription territoriale des pratiques spatiales d'individus résidant d'une part dans le rural isolé et d'autre part dans le rural polarisé.

Tout d'abord, elle a pour ambition de dégager des profils, non sur la base d'un « simple » examen visuel des traces comme nous l'avons fait pour cette première typologie, mais sur l'application systématique (i.e. *via* un protocole de calcul strictement identique pour chaque trace) et exhaustive (appliqué aux 102 traces de l'échantillon) de la méthode. Ce choix engendre des distinctions de 3 types entre les deux typologies :

- approche « visuelle » versus approche « calculatoire » ;
- classification empirique « manuelle » (examen visuel successif de chaque trace et identification empirique de profils type) versus classification « automatisée » (au sens d'un calcul statistique des centres moyens et EDS débouchant automatiquement sur l'appartenance d'une trace donnée à une classe donnée) ;
- approche « partielle » (identification de figures de l'inscription territoriale des pratiques d'individus en référence à quelques traces GPS caractéristiques, sans pour autant pouvoir affecter toutes les autres traces à l'une ou l'autre de ces figures) versus approche « complète »

(où toutes les traces se voient affectées à une des catégories identifiées par une analyse statistique).

Notre approche part ensuite de l'hypothèse que le lieu de résidence d'un individu, qu'il soit localisé dans un espace rural polarisé ou isolé par exemple, n'est pas nécessairement déterminant dans le type de pratiques spatiales. C'est pourquoi le protocole considère toutes les traces, indépendamment de ce critère de localisation du domicile dans tel ou tel espace. Cette posture doit également être à même de démontrer cette hypothèse.

Le positionnement de notre démarche étant précisé, la caractérisation des traces puis la catégorisation suit le protocole suivant :

- Calcul, pour chaque trace de l'échantillon, des coordonnées du centre moyen, de la distance de celui-ci au lieu de résidence de l'individu suivi et enfin des paramètres constitutifs de l'ellipse de déviation standard (longueur du grand et du petit axe, coefficient d'aplatissement et aire de l'ellipse).
- Application d'une analyse en composantes principales (ACP) sur la base des résultats de l'étape précédente, afin de réaliser une analyse par classification ascendante hiérarchique (CAH) et *in fine*, d'élaborer une typologie avec l'ensemble des traces disponibles.

1. Traitement des EDS par ACP

Une ACP est appliquée sur les 5 variables qui suivent et définissent la dispersion des points des traces GPS pour chaque individu par les ellipses de déviation standard :

- Aire : surface de l'ellipse qui doit couvrir au moins 68% de l'ensemble des points analysés, dans notre cas, il s'agit des points de coordonnées géographiques acquis par GPS pour chaque individu, soit 104. La forme de l'ellipse est définie par deux axes qui se croisent perpendiculairement au centre moyen.
- Grand axe : longueur de plus grand axe définissant l'ellipse. Sa demi-longueur par rapport au centre moyen représente un écart-type des coordonnées X et Y.
- Petit axe : longueur du plus petit axe définissant l'ellipse. La demi-longueur par rapport au centre moyen représente un écart-type des coordonnées Y et X.
- Aplatissement : rapport de la longueur du plus grand axe sur le plus petit.
 - Aplatissement = 1 : les longueurs des deux axes sont égales et représentent un cercle, une ellipse particulière. La dispersion des points est alors isotrope.
 - Aplatissement tend vers l'infini : lorsque la longueur du plus grand axe est nettement plus importante que celle du petit axe, la forme de l'ellipse est étirée et d'autant plus aplatie que le rapport est grand. Une valeur importante traduit une anisotropie de la répartition des points orientée par des déplacements éloignés du centre moyen et de la résidence.
- DDCM (« Distance du Domicile au Centre Moyen ») : distance euclidienne entre le lieu de résidence et le centre moyen. Les individus partant et revenant quotidiennement de/à leur résidence, le domicile concentre une grande partie des points des traces GPS. Il se confond en théorie avec le centre moyen, surtout dans le cas d'un semis de points isotropes. Lorsqu'un individu est polarisé par une agglomération urbaine, l'ellipse prend une forme étirée vers ce pôle et le centre moyen est décalé de la résidence. Le centre étant la moyenne arithmétique des coordonnées cartographiques des points de la trace GPS, sa position sera influencée par les fortes amplitudes des coordonnées.

Comme toute moyenne calculée sur une série statistique, la position de ce centre dépend de la répartition des points de part et d'autre de la résidence. Ainsi une distance quasi nulle entre le centre et le domicile peut signifier deux configurations géographiquement différentes :

- personnes domo-centrée : les déplacements et les lieux fréquentés sont répartis de façon homogène autour de la résidence.

- personnes polarisées par deux villes dans des directions opposées par rapport au domicile : par exemple une personne habitant à Montlouis-sur-Loire peut fréquenter Tours à l'Ouest et Amboise à l'Est. Si les déplacements s'équilibrent entre les deux villes, le centre moyen sera peu éloigné du domicile alors que cet individu est polarisé par deux pôles qui orientent ses déplacements.

Par conséquent, si cette distance permet de rapprocher l'ellipse au domicile de l'individu dont on résume la trace, l'information donnée par cet éloignement gagnera à être complétée par la taille et la forme de l'ellipse.

L'ACP réalisée sur les 5 variables permet d'observer leurs relations statistiques. Les coefficients de corrélation sont assez élevés (Tableau 1), ce qui est prévisible dans la mesure où il existe une relation mathématique entre ces indicateurs. Par exemple l'aire d'une ellipse dépend de la longueur de ses axes. Toutefois ces très fortes corrélations sont « tirées » par deux individus particuliers (020 et 192). Ces individus ont effectué des déplacements dans le Sud-Ouest (Toulouse et Pau) qui agrandissent l'ellipse de manière extrêmement importante. Leurs contributions s'élèvent à 76% de la variabilité de l'ensemble des individus de la série analysée dans l'ACP. Aussi, pour éviter un biais trop important créé par ces deux observations jugées réellement « exceptionnelles », nous présentons les résultats sur 102 ellipses uniquement.

Coefficient de corrélation Pearson	DDCM	Aire	Aplatissement	Grand axe	Petit axe
DDCM	1	0,956	0,385	0,959	0,694
Aire	0,956	1	0,270	0,928	0,736
Aplatissement	0,385	0,270	1	0,452	-0,015
Grand axe	0,959	0,928	0,452	1	0,742
Petit axe	0,694	0,736	-0,015	0,742	1

Tableau 1 : Coefficient de corrélation Pearson sur 104 individus.

Les résultats du Tableau 2 réalisé à partir de ce nouveau tableau présentent des corrélations moins fortes mais toujours significatives. Ainsi lorsque l'aire d'une ellipse s'accroît, le grand axe sera d'autant plus grand ($R = 0.907$). Pour le petit axe, sa longueur n'est pas aussi bien corrélée (0.719 avec l'aire et 0.548 avec le grand axe). La forme de l'ellipse est donc plus ou moins aplatie et cette variation est nettement observable par le paramètre d'aplatissement qui présente les moins bonnes corrélations.

Coefficient de corrélation Pearson	DDCM	Aire	Aplatissement	Grand axe	Petit axe
DDCM	1	0,793	0,437	0,852	0,426
Aire	0,793	1	0,245	0,907	0,719
Aplatissement	0,437	0,245	1	0,496	-0,195
Grand axe	0,852	0,907	0,496	1	0,548
Petit axe	0,426	0,719	-0,195	0,548	1

Tableau 2 : Coefficient de corrélation Pearson sur 102 individus.

Il est intéressant d'observer une bonne corrélation entre la DDCM et l'ellipse (aire ou grand axe) : plus la taille de l'ellipse augmente, plus le centre est éloigné de la résidence. Cet écart entre le centre moyen et la résidence correspond à des déplacements éloignés du domicile. A ce stade il n'est pas

possible de caractériser les modalités de cet éloignement en termes de fréquence ou de régularité vers une ou plusieurs destinations.

La contribution des variables aux axes factoriels est présentée dans le Tableau 3. Les indicateurs caractérisant la taille de l'ellipse (aire et axes) et celui de la DDCM influencent le premier axe factoriel. L'aplatissement permet de caractériser le deuxième axe factoriel. L'aplatissement et la longueur du petit axe s'opposent mais la signification géographique est identique. En effet la longueur du petit axe est liée à l'aplatissement de l'ellipse : le rapport est d'autant plus grand que cette longueur est petite.

Corrélations entre les variables et les 2 premiers facteurs :	F1	F2
DDCM	0,899	0,160
Aire	0,953	-0,180
Aplatissement	0,428	0,853
Grand axe	0,968	0,112
Petit axe	0,665	-0,671

Tableau 3: Corrélations des variables aux deux premiers axes factoriels.

Les deux axes factoriels s'interprètent ainsi (Figure 8):

- F1 : cet axe caractérise la dimension de l'ellipse. Plus l'ellipse est grande, plus son centre sera éloigné du lieu de domicile. Nous avons indiqué précédemment que la taille de l'ellipse liait mathématiquement sa surface et la longueur de son grand axe.
- F2 : cet axe caractérise la forme de l'ellipse. Plus la valeur de cet axe est importante, plus la forme de l'ellipse sera relativement aplatie, proportionnellement à sa taille. En effet, il est possible d'avoir un aplatissement similaire entre différentes tailles d'ellipses. La longueur du petit axe dans cet axe factoriel présente une corrélation négative moins bonne en valeur absolue que l'aplatissement. Elle doit permettre la dissociation de l'aplatissement de l'ellipse en fonction de sa taille.

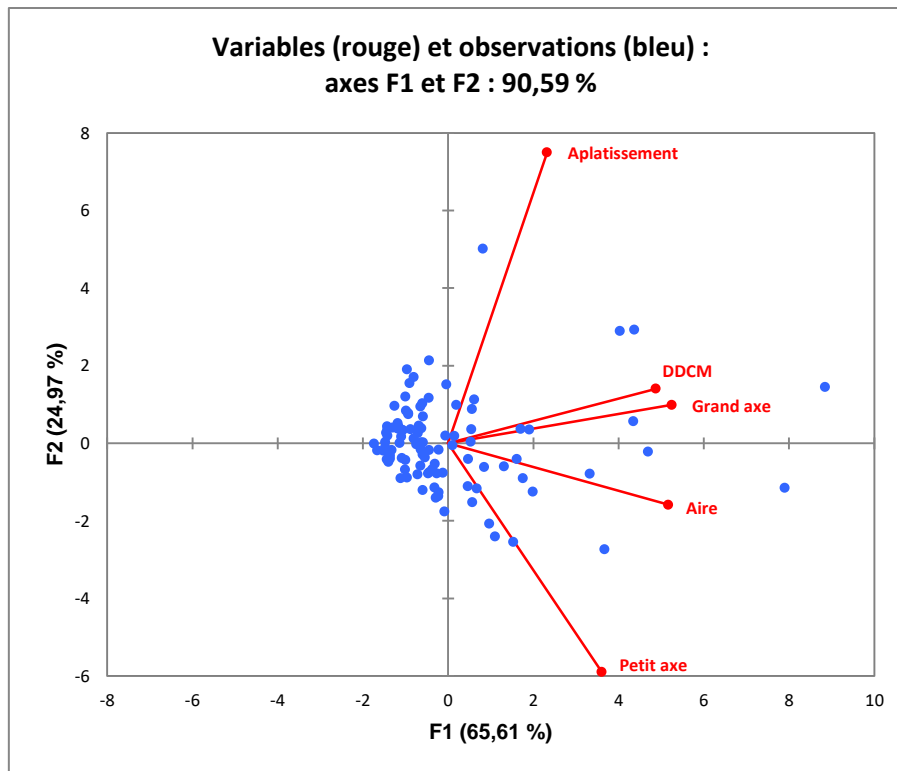


Figure 8 : Les deux premiers axes factoriels de l'ACP

2. Catégorisation des traces par CAH

Pour réaliser la typologie, les coordonnées des individus sur les deux axes factoriels précédents sont utilisées dans une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ces coordonnées permettent de prendre en compte la contribution des paramètres dans la formation des deux axes factoriels de l'ACP précédente. Ce choix permet ainsi d'éliminer la part du bruit des valeurs (Husson et al, 2010). La CAH permet de créer des regroupements d'individus statistiquement homogènes sur les deux composantes factorielles. Parallèlement, chaque regroupement (ou classe) doit être suffisamment distinct des autres classes. La recherche d'une variabilité minimale des individus appartenant à chaque classe et d'une variabilité maximale entre les classes conditionne le choix des classes produites par la CAH. Nous avons fixé le nombre de classes à 16 classes. Ce classement présente une inertie (dans ce traitement, l'inertie se résume à la variabilité des individus entre eux) intra-classe de 4 % de l'inertie totale (soit 96 % pour l'inertie inter-classe). La variabilité intra-classe s'améliore au fur et à mesure que le nombre de classes augmente. Cette relation n'est pas régulière et les ruptures présentent un intérêt dans la classification. Le choix de 16 classes est motivé par la présence d'une telle rupture dans la progression de la variance intra-classe.

Si la classification en 16 classes donne globalement des résultats statistiques très satisfaisants, leur composition est contrastée : 4 classes (n°4, 14, 15 et 16) n'ont qu'un seul individu (188, 134, 201 et 267) et la classe 3 en regroupe 25 (Figure 9). Sur cette dernière classe, le rapport entre la plus petite et la plus grande aire des ellipses (paramètre explicatif du premier axe factoriel) qui la compose, est de 10. Toutefois cette même classe n°3 regroupe 7.5% de la variabilité totale de la série, ce qui en fait une classe statistiquement plus « compacte ». Cette variabilité évaluée par la CAH est l'éloignement des individus entre eux (ou distance) prenant en compte les deux axes factoriels et non un seul paramètre. L'éloignement entre les 3 grandes ellipses composant la classe n° 13, cumulent 17% de la variance totale et est donc statistiquement plus hétérogène.

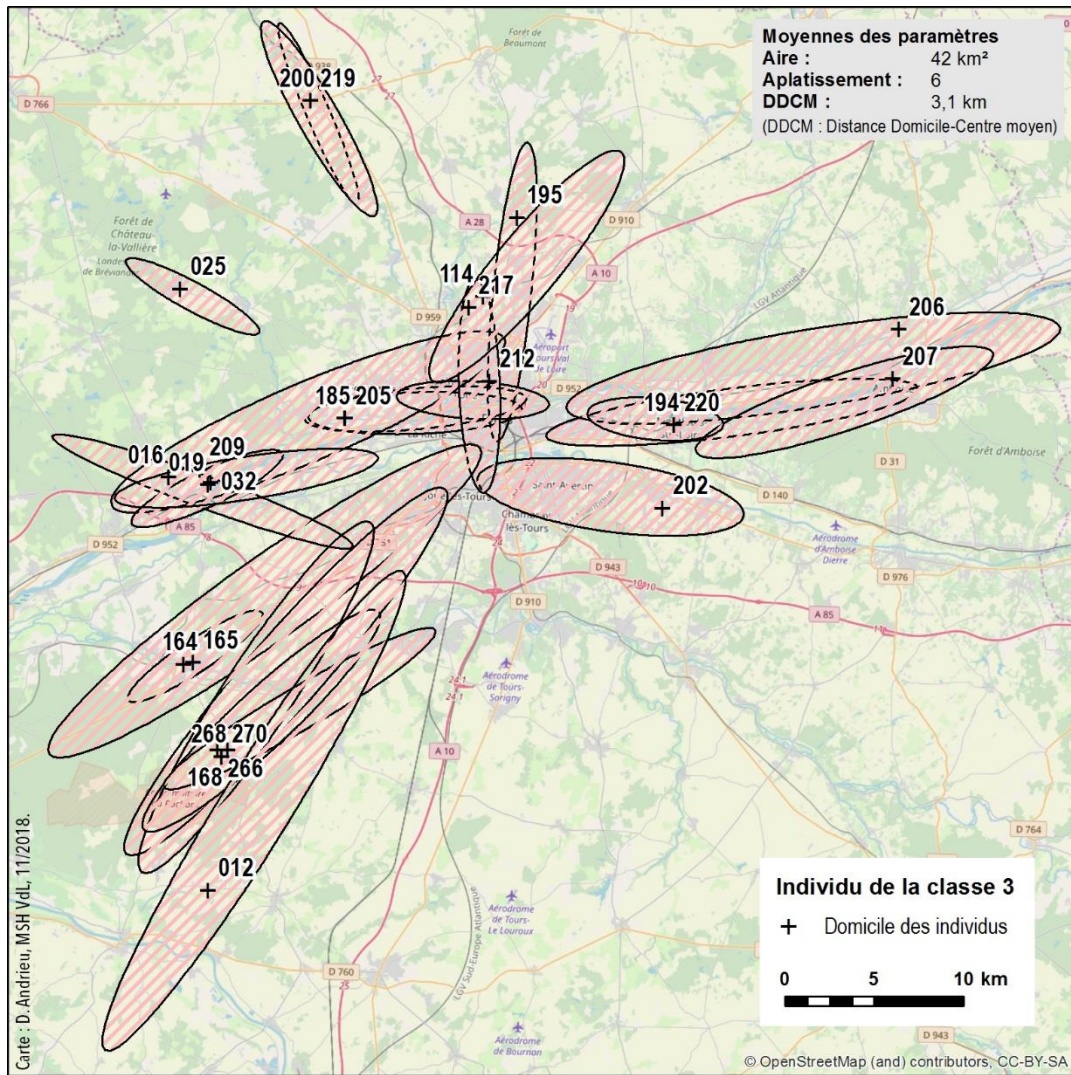


Figure 9 : Ellipses de la classe 3 de la CAH - Des mobilités peu étendues mais très polarisées par la métropole

D'autres classes sont homogènes comme la n°8 (Figure 10) qui regroupe 4.5% de la variance totale.

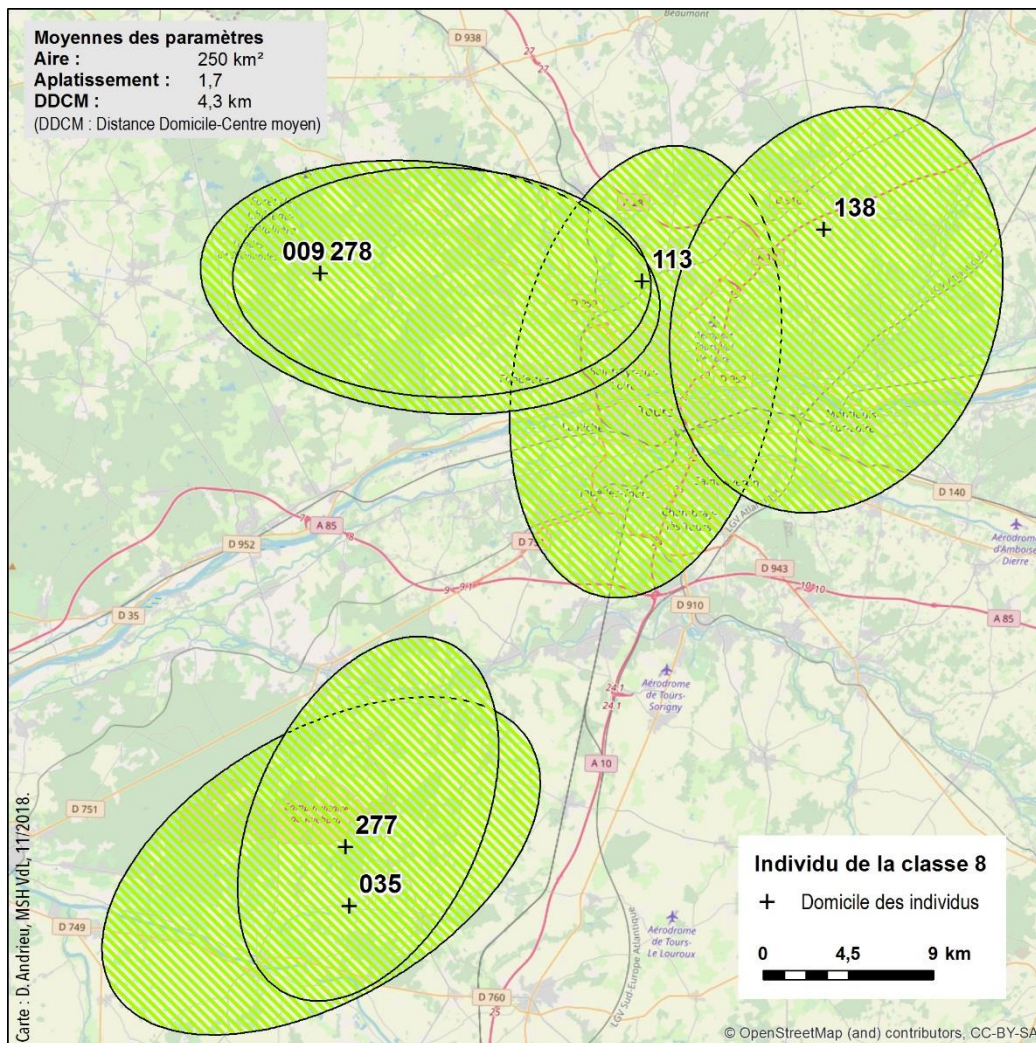


Figure 10 : Ellipses de la classe 8 de la CAH – Des mobilités autour du lieu de résidence et faiblement polarisées

Cette composition des classes est à analyser par le biais de leur localisation géographique. En effet les ellipses des classes recouvrent des espaces géographiques très différents et concernent des lieux de résidence aux profils urbains tout aussi différents (voir Figure 3). Nous pouvons citer par exemple :

- classe 3 (Figure 9) : l'aplatissement des ellipses (et par conséquent la dimension du petit axe) est plus homogène. Quelle que soit la taille de l'ellipse, l'étirement des ellipses décale leur centre des lieux de résidence (18 km en moyenne sur les 25 individus). L'agglomération tourangelle polarise la forme de la quasi-totalité des ellipses. Cette polarisation concerne autant des habitants de communes de la banlieue (individus 185 ou 205 à Fondettes) que des habitants de l'espace hypo-urbain (individu 012 résidant à Crissay-sur-Manse). Certaines ellipses ne sont pas orientées vers Tours comme l'individu 016 qui déclare un travail à domicile ou l'individu 207 qui travaille à Vétetz (au SE de l'agglomération tourangelle). En définitive, l'analyse plus fine de sa composition fait ressortir des traits communs, notamment le rôle de l'emploi, structurant les mobilités de ce groupe.

- classe 8 (Figure 10) : à l'opposé de la classe précédente, les ellipses de cette classe sont très homogènes, peu étirées (l'aplatissement ne dépasse pas 1,8) et assez vastes (entre 10 et 12 km en longueur). Elles représentent une territorialisation des individus qui ne se joue pas autour de leur résidence exclusivement puisque l'écart entre le domicile et le centre moyen est de 5,5 km. Deux ellipses sont nettement séparées et situées dans l'espace infra-urbain (individus 035 et 277). A la différence des 4 autres ellipses couvrant l'agglomération de Tours, l'écart entre le domicile et le centre

moyen est plus petit (respectivement 2,6 et 1,9 km). Si ce groupe d'individus représentent une forte empreinte sur le territoire, elle touche soit l'agglomération tourangelle soit l'espace rural où les pratiques sont moins polarisées par la métropole.

A titre d'illustration complémentaire, la cartographie des autres classes est disponible en annexe, leurs caractéristiques étant les suivantes (Tableau 4) :

Classe n°	Aire (km ²)	Aplatissement	DDCM (km)	Intitulé de la classe
1	31	2,2	1 162	Mobilité autour de la résidence très peu étendue
2	56	12,1	4 812	Mobilité très peu étendue mais fortement polarisée
3	42	6,0	3 148	Mobilité très peu étendue mais polarisée par la métropole
4	31	32,9	12 638	Faible mobilité mais hyper-polarisée
5	18	2,7	3 568	Mobilité autour de la résidence faiblement polarisée
6	149	4,5	5 246	Mobilité peu étendue mais polarisée
7	271	7,7	12 690	Mobilité éloignée et polarisée
8	250	1,7	4 309	Mobilité autour de la résidence
9	563	4,0	7 927	Mobilité étendue faiblement polarisée
10	866	6,7	15 265	Mobilité éloignée, étendue et polarisée
11	801	1,9	7 881	Mobilité étendue autour du domicile
12	1219	22,8	24 936	Mobilité très étendue et polarisation parisienne
13	1948	10,2	21 054	Mobilité très étendue et multipolarisée
14	2203	3,6	12 457	Mobilité éloignée et étendue
15	2901	15,6	75 091	Mobilité très éloignée, très étendue et hyper-polarisée
16	3791	8,9	45 535	Mobilité très éloignée, très étendue et polarisée

Tableau 4 : Intitulés des types

Cette analyse exploratoire montre que la réanalyse de traces GPS est opérationnelle avec les paramètres classiques des ellipses de déviation. L'analyse permet d'identifier des individus particuliers dans le corpus. Elle montre le rôle statistique de la taille et de la forme des ellipses que les axes factoriels retranscrivent. A la place de l'emploi des axes factoriels dont les valeurs ne sont pas représentables par la cartographie, l'ACP donne la possibilité de réduire le nombre d'indicateurs et éviter ainsi les redondances (risques de colinéarités statistiques). Ainsi sur l'ensemble des traces de notre corpus, les indicateurs suivants ressortent :

- **DDCM** : cet indicateur est préféré au grand axe dont il est très proche car il permet de garder une relation avec le lieu de résidence des individus et le centre moyen.
- **Aire** : elle définit la taille de l'ellipse et donc la dispersion spatiale des points de chaque trace GPS
- **Aplatissement** : cet indicateur influençant le second axe factoriel permet de prendre en compte sa relation avec le petit axe des ellipses.

La CAH réalisée par la suite aboutit à une interprétation macro-géographique de mobilités. Si la typologie regroupe des individus parfois variés, les classes créées masquent des configurations de mobilités parfois disparates. En effet les observations réalisées montrent que pour un même ensemble d'ellipses avec des caractéristiques statistiques plutôt homogènes (par exemple la classe n°8), leurs

localisations couvrent des espaces géographiques très différents ou des domiciles aussi bien situés en milieu urbain que rural. Ces regroupements statistiques d'individus recouvrant des configurations géographiques variables ont pour trait commun des pratiques similaires de mobilités à l'origine de la construction des ellipses. Ainsi l'analyse de la composition des groupes issus de la CAH est un premier niveau de connaissance vers une lecture plus fine des mobilités.

En statistique, les effets inhérents à la composition des individus sur le calcul de moyennes sont connus. Par conséquent seule une lecture globale des tendances est possible par ce type de réanalyse. Elle ne remplace aucunement une analyse qualitative plus fine des mobilités.

Il est toutefois envisageable d'effectuer une réanalyse visant à établir des relations entre les formes de mobilités et les profils socio-géographiques des individus. L'analyse statistique peut alors être menée sur une partie du corpus, sélectionnée à partir des métadonnées caractérisant les individus ou leur résidence. Au regard de la précédente conclusion, les paramètres des ellipses ne devraient pas être significativement différents lorsqu'ils résument les individus en fonction de l'urbanité du lieu de résidence.

Conclusion

La mise en œuvre du protocole défini dans la première partie, à partir du calcul systématique du centre moyen et de l'EDS pour toutes les traces de l'échantillon, puis d'une ACP et enfin d'une Classification Ascendante Hiérarchique, nous semble donc bien être une solution complémentaire à la classification « visuelle » exposée en introduction, pour une catégorisation de « profils-type » des pratiques spatiales d'un ensemble d'individus suivis par traceurs GPS, et ce, sans disposer par ailleurs de compléments d'informations sur les mobilités des volontaires (carnets de pratiques, interviews post-enregistrement, etc.).

De cette CAH, nous pouvons résumer les résultats ainsi :

- Le nombre important de catégories induites par notre protocole, 16 en l'occurrence, illustre la grande diversité des pratiques parmi les 102 traces effectivement analysées.
- Les résultats montrent pourtant que la majeure partie des effectifs appartient à quelques classes (en particulier les classes 3, 1 et 5 regroupant plus de 10 personnes chacune), indiquant par là qu'*in fine*, les individus suivis, indépendamment de leurs caractéristiques sociodémographiques, ont des pratiques de l'espace assez semblables. D'une certaine manière, on pourrait ainsi faire un parallèle avec les résultats issus du calcul des flux de déplacements quotidiens, en référence aux modèles agrégés classiques, de type gravitationnel : si chaque individu est « unique », par ses pratiques spatiales spécifiques, en termes de lieu de résidence, en termes sociodémographiques, de contraintes personnelles et professionnelles, il s'avère que de manière agrégée à une population communale, ou *a minima* à nos 102 volontaires, la pratique des territoires reste assez similaire dans ses grandes lignes pour beaucoup de ces volontaires.
- Par ailleurs, après examen des EDS au sein de chaque classe, il s'avère que pour une classe donnée, le lieu de résidence n'est pas aussi déterminant que ce que nous pouvions supposer en matière de type de pratiques spatiales. On retrouve ainsi des tailles et formes d'EDS similaires d'individus résidant pourtant tantôt dans des espaces ruraux que nous avons définis comme isolés, tantôt dans ceux définis comme polarisés. Indépendamment du lieu de résidence, d'autres caractéristiques sociodémographiques semblent donc suffisamment communes à ces volontaires pour appartenir aux mêmes classes de la typologie obtenue (en termes d'éloignement des lieux fréquentés, notamment les lieux de travail, de leur fréquence et durée de visite, etc.). Cette mise en évidence de pratiques spatiales indépendantes du type d'espace de résidence est notamment observable lorsque, dans la classe 1 ou 8, la DDCM est faible (signifiant un certain ancrage de l'individu à proximité de son domicile), le coefficient d'aplatissement est faible (signifiant une relative isotropie des pratiques spatiales) et pourtant résidant parfois dans un territoire rural isolé et parfois en première couronne de l'agglomération tourangelle. Seule l'orientation géographique des EDS montre parfois une distinction assez nette entre les personnes : certaines sont clairement « polarisées » vers l'agglomération de Tours et d'autres vers des communes ou villes moyennes comme Chinon.

Toutefois, il convient de considérer avec une certaine mesure ces principaux résultats. Tout d'abord, le protocole suivi mène à une analyse agrégée des traces GPS. De ce fait, si l'objectif de catégorisation systématique et automatisée est atteint nous semble-t-il, il n'en reste pas moins qu'une approche croisée par une analyse fine de chaque trace, du profil sociodémographique notamment, nous apparaît utile si l'enjeu dérive de la « simple » description des pratiques spatiales à leur explication et à la recherche de leurs déterminants.

Ensuite, plusieurs éléments d'ordre initialement technique sont de notre point de vue à considérer si dans le cadre de projets ultérieurs, le protocole devait être déployé pour de nouveaux échantillons de traces. Ces éléments sont liés à la méthode de collecte des données car la mutualisation des traces GPS

issues de 4 projets de recherche nous a mené à considérer ensemble des données enregistrées selon des paramètres légèrement différents :

- Le plus souvent, l'enregistrement des traces s'est effectué sur 7 jours, mais dans quelques cas, parfois moins (oublis des traceurs, arrêt anticipé de l'expérience de la part du volontaire, etc.) ou parfois plus (jusqu'à 2 semaines dans les cas de pratiques très différentes selon les semaines). Par exemple, pour les traces du projet Mour, les suivis GPS se sont déroulés sur des périodes de 6 à 10 jours (7 jours et demi en moyenne) ; pour les traces du projet Perivia, ils se sont déroulés sur des périodes de 5 à 13 jours. En outre, la période de l'année durant laquelle étaient enregistrées les traces de l'échantillon variait logiquement puisque les projets associés étaient sur des temporalités différentes : avril 2013 pour les traces du programme Mour ; juin à août, ou octobre 2014 pour les traces du projet Mobiter.

- Les fréquences d'enregistrement des traces sont, selon le programme de recherche associé, de 3 ou 5 secondes entre chaque point d'enregistrement et parfois variables selon la vitesse de déplacement de l'individu suivi (en l'occurrence, avec une fréquence de 3 secondes quand la vitesse est supérieure à 30km/h et 1 seconde si la vitesse relevée par le traceur est en dessous). L'exploitation des seules traces collectées selon des paramètres strictement identiques revenait de fait à rendre impossible toute mutualisation, puisque lié à chaque projet de recherche du méta-projet. Par ailleurs, un redressement éventuel n'était pas envisageable, en particulier lorsque la fréquence était variable selon la vitesse de déplacement.

Ces différences pourraient ainsi questionner le potentiel de comparabilité des traces collectées lors de plusieurs projets distincts et la signification d'une telle comparaison de traces mutualisées. Pour autant, si le paramétrage des traceurs GPS était normalisé et les durées d'enregistrement parfaitement identiques d'une trace à l'autre, il n'en reste pas moins que d'autres questions surviendraient immédiatement : ainsi, que tirer d'une comparaison de traces enregistrées sous une météorologie clémente pour certaines, par temps pluvieux ou froid pour d'autres, si l'individu suivi y est sensible dans son choix modal par exemple ? Quelle signification a une comparaison d'enregistrements de mobilités « quotidiennes » (enregistrées en semaine) et de mobilités quotidiennes et exceptionnelles (enregistrées en partie lors de week-end par exemple) ? Plus globalement, le travail de mutualisation questionne le sens de ces traces. En quoi sont-elles réellement représentatives des mobilités des individus suivis ? Peut-on/doit-on sélectionner des parties de traces, qui seraient possiblement plus représentatives de mobilités quotidiennes et si oui, comment le déterminer par la seule existence d'un fichier de traces, sans carnet de pratique ou autre renseignement fourni par la personne ? Et alors, comment juger du caractère occasionnel ou régulier d'un lieu fréquenté sur des périodes aussi courtes qu'une semaine ?

Une réponse à ces questions consiste selon nous à considérer ces traces comme des représentations d'une mobilité sur une période donnée (allant de 5 à 13 jours dans notre cas), non assurément quotidienne ou régulière, non assurément « représentative » non plus mais *in fine*, reflétant parfaitement une pratique de mobilité à une période donnée d'une année, sur une durée donnée, réalisée par un individu donné, telle une photographie sur une période de t à $t+n$. Ainsi, la comparaison de traces enregistrées dans des contextes variés (météorologiques notamment) et pendant des périodes différentes devient envisageable, en tant que comparaison de « moments de mobilité ». Les traces sont conservées telles quelles, sans tri, sélection ou suppression de points. Pour qu'une telle comparaison ait malgré tout un sens et pour lisser *a minima* les biais mentionnés ci-dessus, il faut néanmoins qu'elle soit réalisée sur des échantillons importants comme celui de la centaine de traces que nous avons exploitée. Ces exigences de comparabilité et de quantité importante de traces à disposition valent également parce qu'une EDS prise individuellement n'a pas de sens ni d'intérêt autre que si elle est

comparée par diachronie, puisque moins informative qu'une représentation visuelle de la trace par exemple.

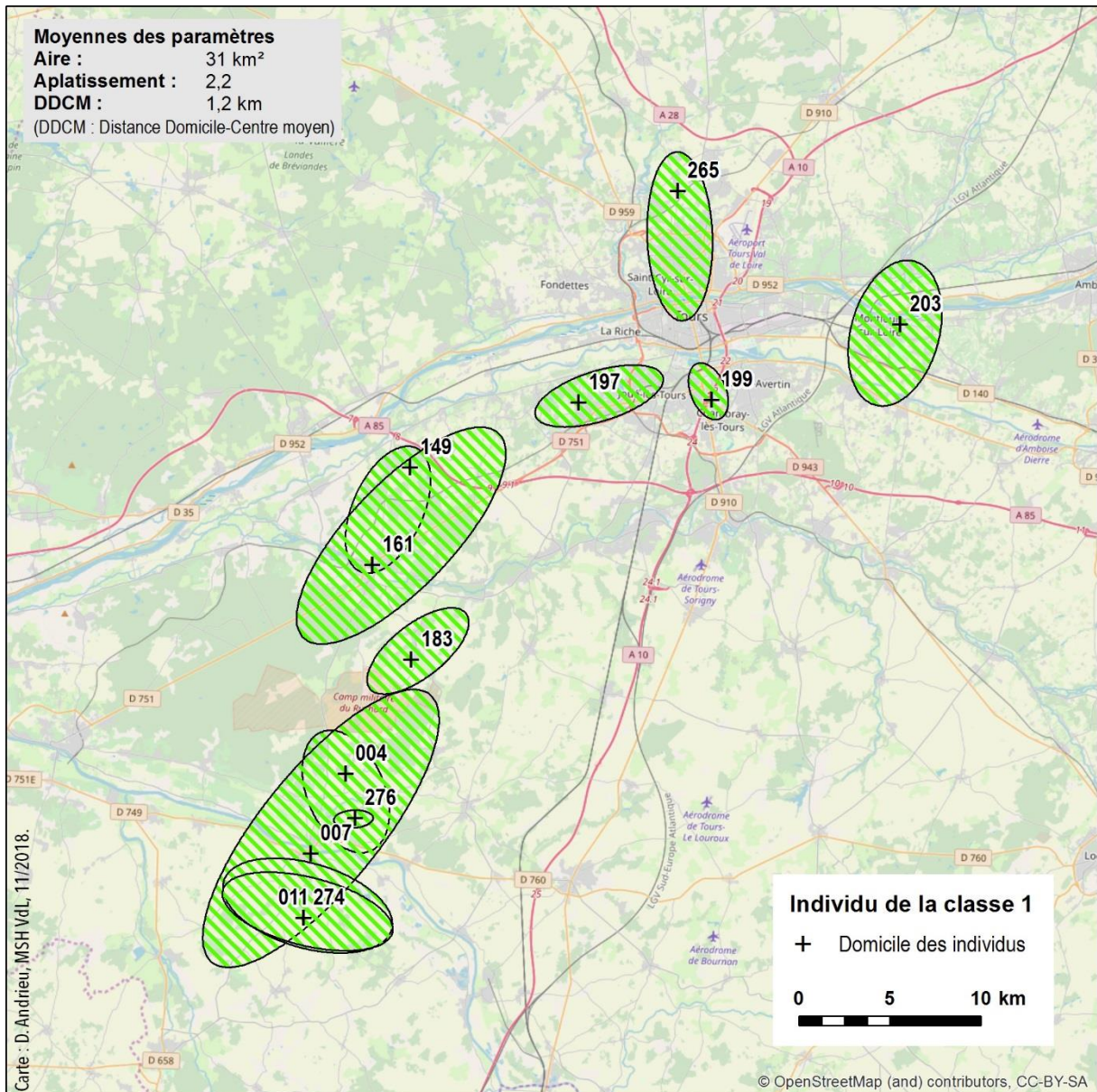
L'approche expérimentale et exploratoire adoptée nous semble dès lors suffisamment robuste pour permettre une réutilisation des catégories identifiées au filtre de nouveaux échantillons de traces GPS. En revanche, deux perspectives nous apparaissent intéressantes, si ce n'est nécessaire :

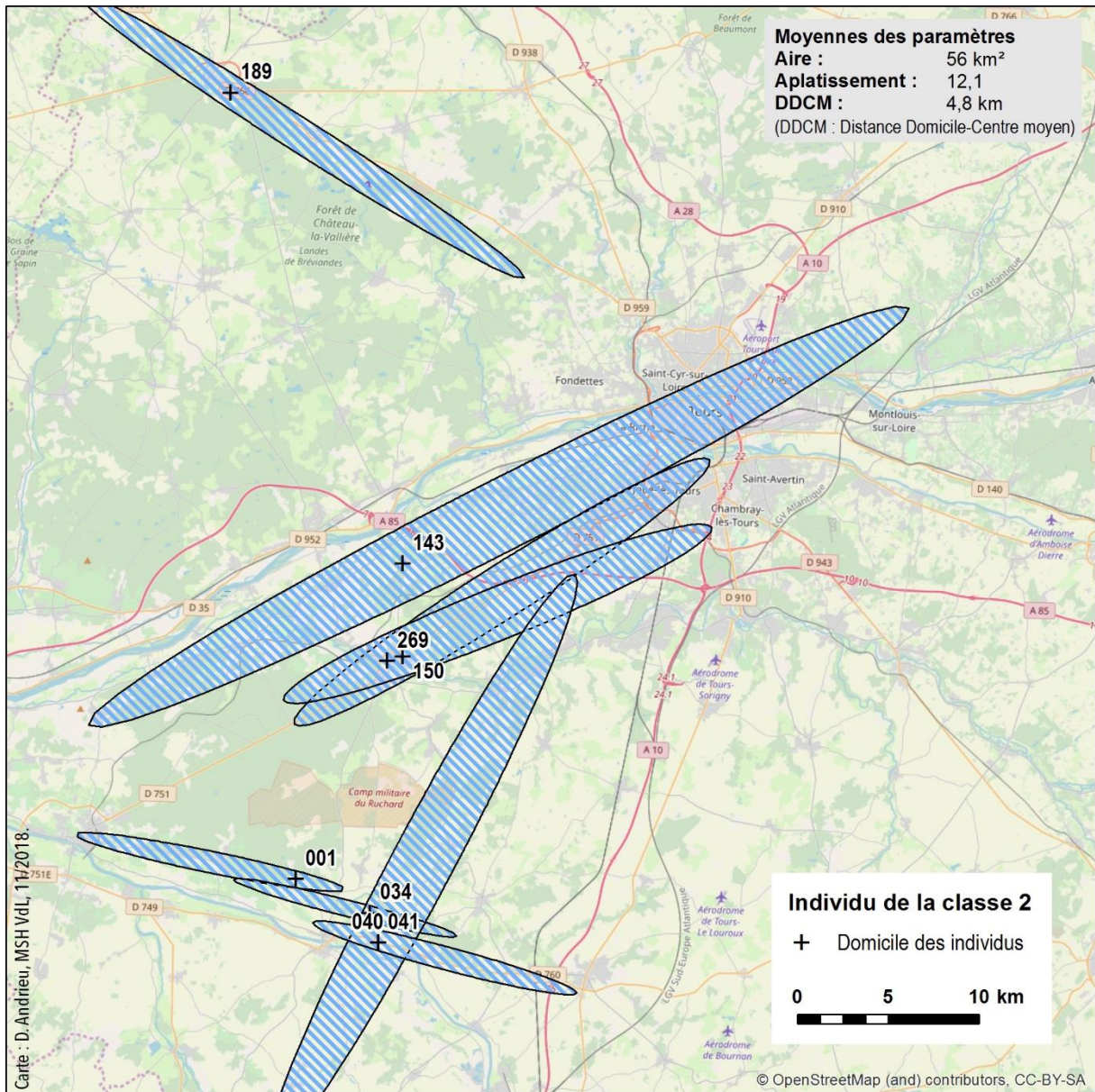
- Aboutir à une « verbalisation » de chacune des classes en caractérisant chacune d'elle par une sémantique plus « opératoire » qu'un numéro ou qu'une moyenne de surface, d'aplatissement ou de DDCM. Les notions d'ancrage, de polarisation, d'(an)isotropie en sont des prémisses mais encore trop distantes de formulations de type « local métropolitain » ou de « reclus autarcique » par exemple.
- « Ouvrir la boîte noire » de chaque classe, en examinant chacune des traces qui la constituent, sous l'éclairage des caractéristiques sociodémographiques des individus associés et ainsi, comme nous avons pu le signaler plus haut, dépasser le caractère descriptif et typologique de la démarche pour entrer dans celle de l'explication des pratiques spatiales.

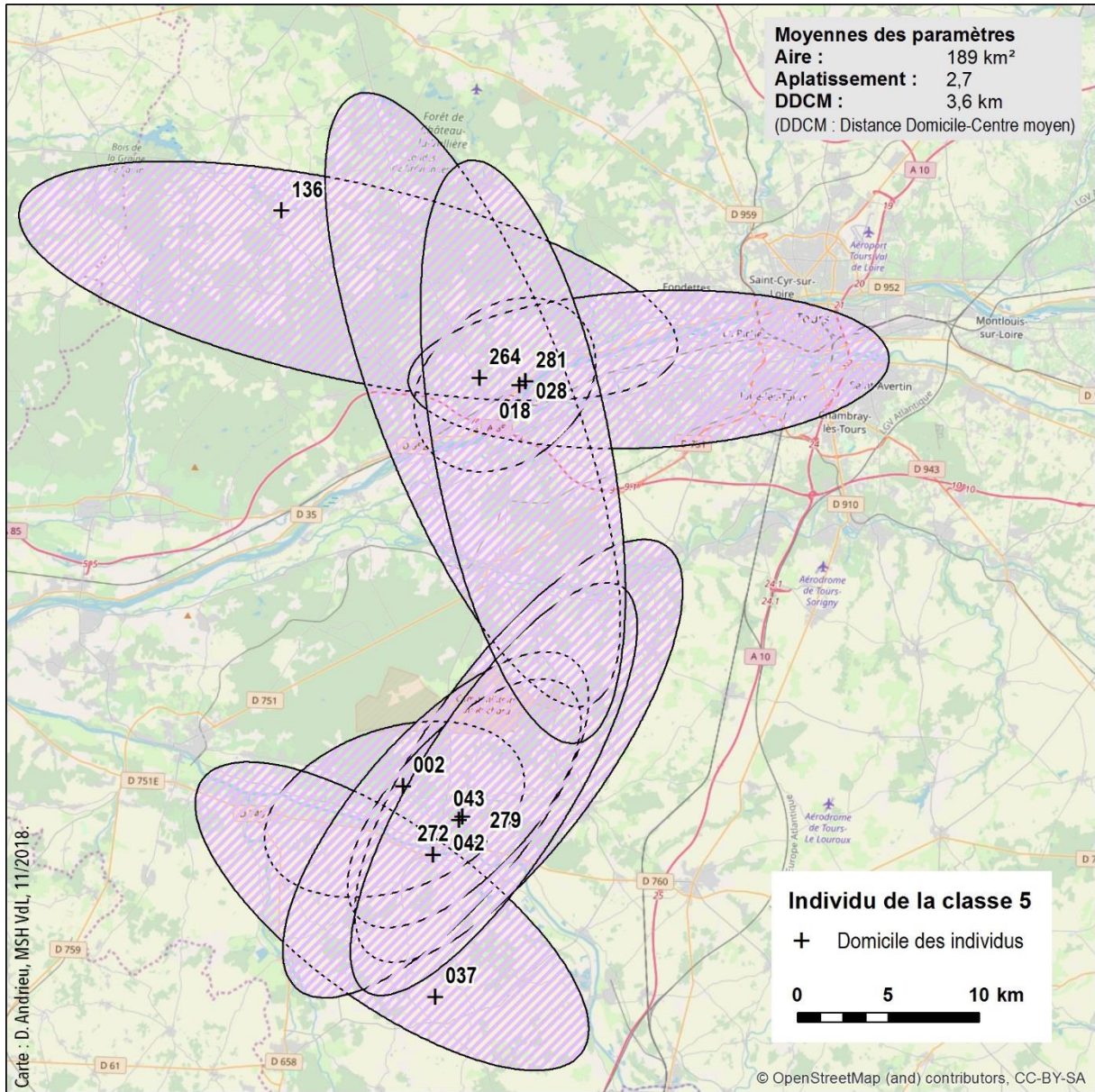
Bibliographie

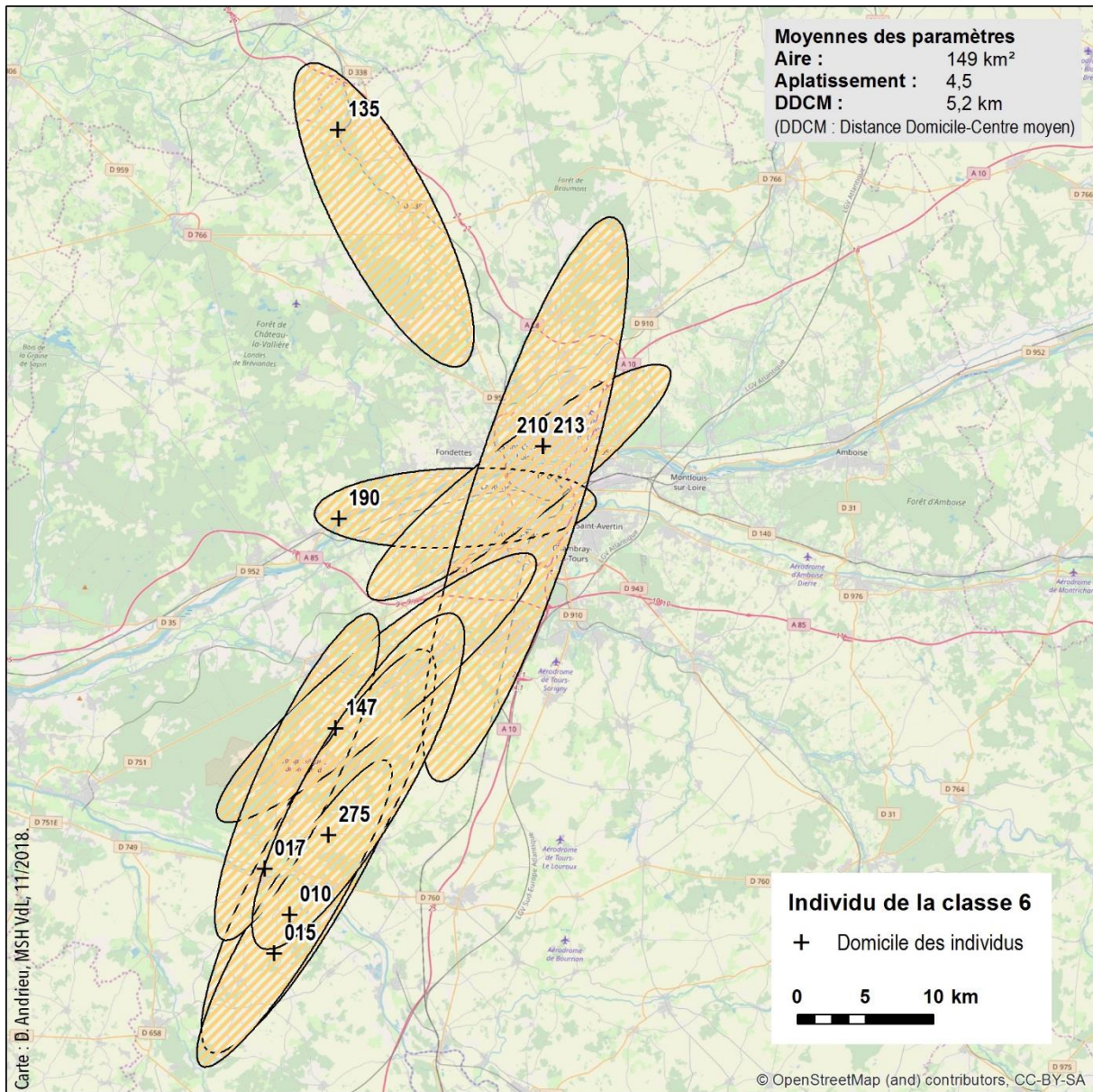
- Aguilera A., Baptiste H. (dir.), Feidel B., Huyghe M., 2016. *MOBITER : MOBilité et dynamique des Territoires Ruraux*, Rapport final PREDIT-ADEME.
- André-Poyaud I., Bahoken F., Chardonnel S., Charleux L., Depeau S., Dureau F., Giroud M., Imbert C., Quesseveur E., Tabaka K., 2010. *Représentations graphiques et indicateurs des mobilités et des dynamiques de peuplement : contribution bibliographique*, Poitiers : Migrinter.
- Banos A., 2001. « A propos de l'analyse spatiale exploratoire des données », *Cybergeo*.
- Bisone F., Etienne L., Devogele T., 2017. « Extraction automatique de la sémantique des trajectoires. », *Spatial Analysis and GEomatics 2017*, Rouen, France.
- Buard E., Devogele T., Ducruet C., 2015. « Trajectoires d'objets mobiles dans un espace support fixe », *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 25 (3) : 331-354
- Demoraes, F., Piron, M., Zioni, S., Souchaud, S., 2012, « Inégalités d'accès aux ressources de la ville analysées à l'aide des mobilités quotidiennes : Approche méthodologique exploratoire à São Paulo », *Cahiers de géographie du Québec*, 56 (158), 463–490.
- Drevon G., Gerber P., Gwiazdzinski L., Klein O., 2015, « Frontière et espace de vie : comparaison de deux faisceaux de mobilité quotidienne », *Espace populations sociétés*, 2015/1-2.
- Etienne L., 2011. *Motifs spatio-temporels de trajectoires d'objets mobiles, de l'extraction à la détection de comportements inhabituels. Application au trafic maritime*. Thèse d'informatique, Université de Bretagne Occidentale.
- Husson F., Josse J. & Pagès J., 2010. *Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data?*, Rapport technique.
- Husson, F., Lê S., Pagès J., 2016. *Analyse de données avec R*, Presses universitaires de Rennes, Coll. Pratique de la statistique, ISSN 2269-4714
- Huyghe M., Feidel B., Baptiste H., 2018. « Quelles capacités des traceurs GPS à rendre compte des pratiques de mobilité quotidienne ? Une application sur des territoires de faible densité en Indre et Loire (37, France) », *Lucrarile Seminarului Geographic Dimitrie Cantemir*, Vol.46 (1) : 41-64, ISSN : 1222-989X.
- Laloux M., 2016, *QGIS: des Ellipses de Déviation Standard (SDE), un plugin*, « *Standard Deviational Ellipse* », *des scripts R (processing) et Python et une approche critique...* [<http://www.portailsig.org>].
- Lord S., Joerin F., Thériault M., 2009. « Évolution des pratiques de mobilité dans la vieillesse : un suivi longitudinal auprès d'un groupe de banlieusards âgés », *Cybergeo*.
- Morency C., 2006. « Étude de méthodes d'analyse spatiale et illustration à l'aide de micro données urbaines de la grande région de Montréal », *Les Cahiers Scientifiques du Transport* (49) : 77-102.
- Polupan I., Bezymennyi M., Golik M., Drozhzhe Zh. , Nychyk S., Nedosekov V., 2017. "Spatial and temporal patterns of enzootic rabies on the territory of Chernihiv Oblast of Ukraine", *Journal for Veterinary Medicine, Biotechnology and Biosafety*, Vol. 3 (2)
- Pumain D., 2004. Hypergéométrie [<http://www.hypergeo.eu/spip.php?article46>].
- Pumain D., Saint-Julien T., 2010. *Analyse spatiale : les localisations*, Armand Colin.
- Tukey J. W., 1977. *Exploratory Data Analysis*, Pearson Ed.
- Zaninetti J.M., 2005. *Statistique spatiale : méthodes et applications géomatiques*, Hermès, Lavoisier.

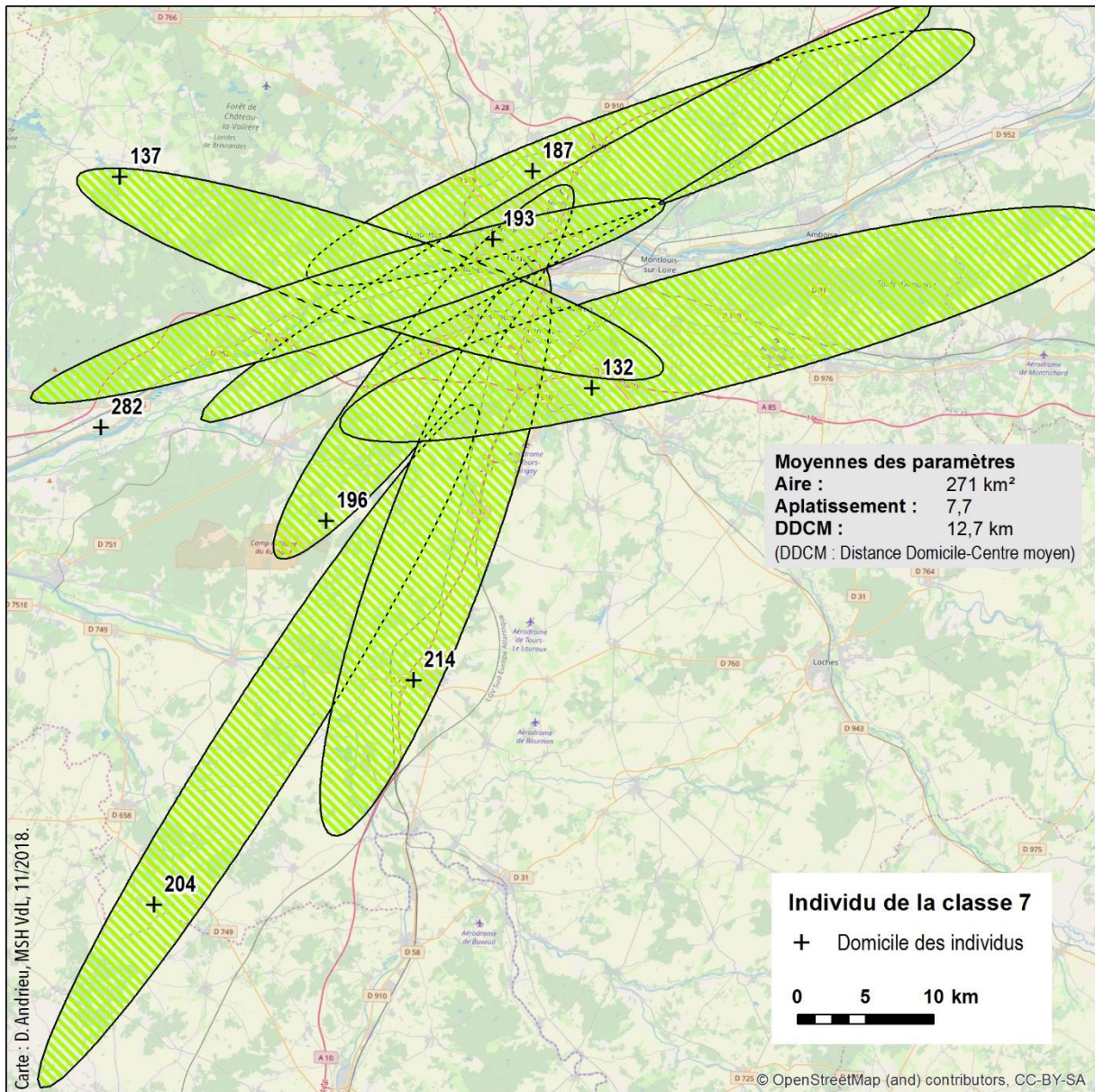
Annexe











Moyennes des paramètres
Aire : 250 km²
Aplatissement : 1,7
DDCM : 4,3 km
(DDCM : Distance Domicile-Centre moyen)

